

Belichting van slatypen en frisee

Literatuurstudie en praktijkervaringen

Jan Janse

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Glastuinbouw
mei 2006

© 2006 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is gefinancierd



Projectnummer: 3248020100

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. : 0317 - 47 83 00
Fax : 0317 - 47 83 01
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

Pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 BELICHTING	9
2.1 Licht en lichtreacties	9
2.2 Lichtkleur	9
2.3 Lamptype.....	10
2.4 Belichtingsduur.....	12
2.5 Lichtintensiteit	13
2.6 Belichting en slakwaliteit.....	13
2.6.1 Bladkleur.....	13
2.6.2 Blad/plantvorm	14
2.6.3 Fysiogene afwijkingen	15
2.6.4 Nitraat	15
2.6.5 Vitaminegehalte	15
2.7 Ziekten	15
2.8 Belichting bij andijvie	15
3 PRAKTIJKERVARINGEN MET BELICHTING IN BINNEN- EN BUITENLAND	17
3.1 Finland.....	17
3.2 Canada.....	17
3.3 België.....	17
3.4 Nederland	18
3.4.1 Sla.....	18
3.4.2 Frisee	18
3.4.3 Chinese groenten.....	19
4 CONCLUSIES	21
LITERATUUR.....	23

Samenvatting

Dit verslag is het resultaat van een consultancy-opdracht op verzoek van de landelijke slacommissie van LTO-GroeiService. Hiervoor is informatie verzameld uit de literatuur over belichting bij sla. Daarnaast zijn praktijkervaringen in binnen- en buitenland met belichting van sla en frisee (krulandijvie) op een rijtje gezet. Het onderzoek is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw.

De plantengroei wordt bepaald door het aantal lichtdeeltjes (=fotonen) in het lightspectrum van blauw (400 nanometer) tot rood (700 nanometer). Dit noemen we groeilicht. De gevoeligheid van planten voor lichtkleuren is duidelijk anders dan van het menselijk oog.

Ook bij sla heeft de lichtkleur invloed op de ontwikkeling en plantvorm. Zo geeft meer blauw licht in het spectrum kortere slaplanten met kleinere, donkerder bladeren en een lager oogstgewicht. Relatief veel rood licht geeft meer strekking van stengel en blad. Op dit moment zetten de beste hogedruk natriumlampen bijna 40% van het opgenomen vermogen om in groeilicht. Lampen met relatief veel blauw licht, bijvoorbeeld TL-buizen, en LED-lampjes zijn (nog) duidelijk minder efficiënt.

Een langere belichtingsduur tijdens een etmaal gedurende de opkweek en/of teelt geeft een snellere groei en een hoger oogstgewicht van de sla. Bij bladsla lijkt het effect van de belichtingsduur groter te zijn dan bij kropsla. Een hogere lichtintensiteit verhoogt eveneens het vers- en/of drooggewicht en versnelt de teelt. Belichting geeft donkerder gekleurde sla. De roodverkleuring van ondermeer Lollo Rossa wordt gestimuleerd door belichting met een hogere lichtintensiteit, een langere belichtingsduur en een relatief groot aandeel van blauw licht in het lightspectrum van de lampen. Om te voorkomen dat de rode kleur weer verdwijnt, moet zo kort mogelijk voor de oogst worden belicht. Een langere belichtingsduur en/of hogere lichtintensiteit verhoogt de kans op topbrand.

In Finland wordt sla veelal met 100 tot 120 W/m² (circa 140 tot 170 micromol/m²/s ofwel ongeveer 11.000 tot 13.000 Lux) belicht gedurende 10 tot 24 uur per dag. Dit is afhankelijk van het bedrijf en de teeltperiode. In België belichten enkele telers van sla op NFT met een belichtingsintensiteit van circa 54 tot 68 micromol/m²/s (4200 tot 5300 Lux) gedurende maximaal 15 uur bij kleine planten tot maximaal 20 uur bij grote planten.

In Nederland is er momenteel één bedrijf dat verschillende typen sla onder belichting teelt en één bedrijf zal in het najaar starten met belichting in combinatie met mobiele goten. De belichtingsintensiteit bedraagt mede afhankelijk van het groeistadium circa 55 tot 70 micromol/m²/s (4300 tot 5500 Lux).

In het seizoen 2005-2006 is op een praktijkbedrijf in Nederland ervaring opgedaan met belichting van frisee met een lichtintensiteit van 87 micromol/m²/s ofwel ruim 6500 Lux. Na enkele teeltaanpassingen werd kwalitatief goede, belichte frisee verkregen. De minimale lichthoeveelheid in de kas van het groeilicht + natuurlijke licht kwam overeen met het meerjarige gemiddelde per dag omstreeks half februari. Midden in de winter bestond 70% van de totale lichthoeveelheid uit groeilicht.

1 Inleiding

Evenals andere groentegewassen is sla gevoelig voor licht. De laatste jaren staat belichting bij groentegewassen in de belangstelling. Dit wordt mede gestimuleerd door bezoeken van slatelers aan Finland. In dat land worden veel gewassen, waaronder sla, belicht.

Vanuit de landelijke slacommissie van LTO-Groeiservice is de vraag gekomen om een literatuurstudie te verrichten naar de mogelijkheden van belichting bij sla. Tegelijkertijd was er een friseeteler in het Westland, die in het winterseizoen van 2005-2006 startte met belichting van frisee. Vanuit het PPO is de teelt gevolgd en zijn in samenwerking met de teler rassenproeven met frisee onder belichting uitgevoerd.

In dit verslag zijn literatuurgegevens en praktijkervaringen opgenomen met betrekking tot belichting in verschillende slatypen.

De literatuurstudie is verricht door gebruik te maken van Webspirs, dat is een wereldwijd systeem voor wetenschappelijk literatuuronderzoek van Wageningen UR. Daarnaast is gezocht op het internet en in de vakliteratuur. Voor de praktijkervaringen zijn gesprekken gevoerd met enkele belichtende telers.

In hoofdstuk 2 zijn de belangrijkste gevonden gegevens uit de literatuur vermeld.

In hoofdstuk 3 wordt met name op praktijkervaringen met belichting in binnen- en buitenland in met name sla en frisee ingegaan.

Het kostenaspect van belichting bij sla lag buiten het bereik van dit onderzoek.

2 Belichting

2.1 Licht en lichtreacties

De zon zendt elektromagnetische straling ofwel energie uit met alle golflengten tussen 300 en 3000 nm (=nanometer). De intensiteit ervan wordt gemeten in Watt/m². Stralingssommen worden aangegeven in Joule/cm² per dag, week, maand of jaar (Rijssel, 2002).

Licht is dat gedeelte van de elektromagnetische straling dat mensen en planten waarnemen en gebruiken. Kleuren die de mens waarneemt, zijn niets anders dan licht van verschillende golflengtes. 'Wit' licht is een mix van verschillende kleuren licht.

Licht is bij planten bepalend voor de aanmaak van suikers (=fotosynthese) en de ontwikkeling ofwel sturing van de plant. Planten zien licht als energiepakketjes, fotonen, die ze gebruiken om water te splitsen en CO₂ te binden. Ze gebruiken de pakketjes ongeacht hun lichtkleur voor steeds hetzelfde proces en gebruiken daarvoor diverse kleurstoffen of pigmenten. Deze dragen de onderschepte energie weer over aan de bladgroenkorrels.

Het aantal lichtdeeltjes (=fotonen) van blauw (400 nm) tot rood (700 nm) bepaalt de fotosynthesesnelheid ofwel de groei van de plant. Dit noemen we groeilicht. De hoeveelheid fotonen uit het spectrum tussen 400 en 700 nm wordt de 'Photosynthetic Photon Flux' (PPF) genoemd en wordt uitgedrukt in micromol/s. Eén micromol fotonen is gelijk aan $6,02 \times 10^{17}$ lichtdeeltjes (Pot, 2005a). Vijfenveertig procent van de globale straling (300 – 3000 nm) van de zon, die gemeten wordt met een solarimeter, is groeilicht.

Afhankelijk van de stand van de zon en de lichtdoorlatendheid van de kas komt hiervan slechts circa 60 (winter) tot 75% (zomer) binnen in de kas.

Mensen zijn voor hun gezichtsvermogen vooral gevoelig voor de golflengten tussen 500 en 600 nm. De hoeveelheid Lux is een maat voor de hoeveelheid zichtbaar licht met het menselijk oog. Hoewel er door telers bij de lichtintensiteit nog vaak wordt gesproken over Lux/m², is het veel beter om bij planten te spreken over de hoeveelheid groeilicht uitgedrukt in micromol/m²/s.

De gevoeligheid van het blad voor licht is ondermeer afhankelijk van de dikte van het blad. De effectiviteit van de fotosynthese blijkt onafhankelijk van de kleursamenstelling te zijn. Zoals al eerder aangegeven, hangt de fotosynthese samen met het aantal fotonen met een golflengte tussen de 400 en 700 nm (Anonymus, ?).

In de praktijk wordt vaak de vuistregel gehanteerd dat per 1000 Lux de kaslucht wordt opgewarmd met 0,7°C. De opwarming wordt echter niet bepaald door Lux, maar door het geïnstalleerde vermogen. Een groot gedeelte van de geabsorbeerde straling wordt door een actief gewas gebruikt voor de verdamping. In het licht gaan de huidmondjes immers open en zal het gewas gaan verdampen. Het is daarom beter om de opwarming van de kas door belichting uit te drukken per geïnstalleerd vermogen. Bij de Green Power-lamp van Philips is de opwarming per 10 W/m² geïnstalleerd vermogen ongeveer 0,5°C (Pot, 2005b).

2.2 Lichtkleur

Het uiterlijk van de plant wordt beïnvloed door de hoeveelheid blauw (400-500 nm) en de verhouding tussen rood (600-700 nm) en verrood licht (700-760 nm). De lichtkleur heeft invloed op de ontwikkeling en plantvorm, onder andere op de strekkingsgroei, intensiteit van de bladkleur, bladstand en bladgrootte en de knopvorming.

De plant beschikt over een aantal lichtgevoelige 'pigmenten' met elk een gevoeligheid voor een specifiek golflengtegebied. Daglengtegevoelige gewassen 'meten' de daglengte en bepalen daarmee of ze bijvoorbeeld wel of niet in bloei komen. Dit pigment (fytochroom) is vooral gevoelig voor rood en verrood

licht (Rijssel, 2002)

Voor een normale plantontwikkeling is een minimale hoeveelheid blauw licht nodig. De hoeveelheid blauw licht in natuurlijk daglicht is echter voldoende voor een normale plantontwikkeling (Pot, 2005a).

In onderzoek in groeikamers bleek dat slaplanten zich in een jong stadium het beste ontwikkelen bij rood licht, maar als ze ouder worden, wordt het steeds belangrijker dat er daarnaast ook blauw licht wordt gegeven (Hahn, 1959).

Meer blauw licht (400-500 nm) geeft minder strekking van de stengel, dus kortere slaplanten (Tibbitts et al., 1983; Hirai en Amaki, 2005). Meer blauw licht geeft bij sla ook kortere en kleinere bladeren (Sase en Ling, 1996), een kleiner bladoppervlak en een lager versgewicht (Brazaityté et al, 2005). Bij een vergelijking tussen alleen rood, blauw of combinatie van rood/blauw licht bleek het aantal slabladeren het laagst te zijn bij uitsluitend blauw licht en het hoogst bij de combinatie blauw/rood (Yanagi et al., 1996). Zonder blauw licht (455 nm) was er een sterke afname van chlorofyl (groene kleur) aan het eind van de behandeling (Brazaityté et al, 2005).

Een hogere verhouding tussen rood (600-700 nm) en verrood (700-760 nm) licht stimuleert juist de strekking van de stengel bij sla en andere gewassen. Dus relatief veel rood licht in het spectrum geeft meer strekking (Hirai en Amaki, 2005).

HPS lampen stralen relatief veel rood licht uit, waardoor deze lampen vrij veel strekking van het onderste stengelgedeelte (hypocotyl) te zien geven (Tibbitts et al., 1983).

In proeven in groeikamers met rode, gele, groene, blauwe en witte LED-lampen bleek dat bij hoge lichtintensiteit er bij alleen groen licht bladverbranding ontstond. Onder rood en geel licht krulden de bladeren enkele dagen na inzetten van de planten naar beneden. De drooggewichten waren 20-30% lager bij uitsluitend geel, groen of blauw licht in vergelijking met onder wit licht (Fukuda et al., 1993). In een ander onderzoek werden geen verschillen in drooggewicht gevonden tussen de kleuren wit, blauw, groen en geel (CAB 10) of rood, blauw en combinatie rood met blauw (Yanagi et al., 1996). In groeikamers gaf groen licht dunnere slabladeren. 24% groen licht (500-600 nm) in combinatie met rood en blauw licht stimuleerde de groei van slaplanten in groeikamers (Kim et al., 2005).

Door normaal glas wordt weinig UV-B (280-320 nanometer) doorgelaten. UV-B is betrokken bij het afharden van planten. In de winter zit er veel minder UV-B in zonlicht dan in zomer: de lichtsom is dan tienmaal lager terwijl het UV-B zelfs duizendmaal lager is. De planten worden daardoor in de winter zwakker. Er is maar weinig UV-B nodig, afhankelijk van de hoeveelheid groeilicht. Een dosis die in de zomer niet effectief is, kan in de winter echter zware schade toebrengen. De gevoeligheid voor schade als gevolg van UV-B hangt ook af van de plantsoort en het ras (Spaargaren, 2000).

Door UV-B licht toe te dienen kregen Wargent et al. (2005) circa 15% dikker blad, maar afhankelijk van het ras nam het bladoppervlak met 34 tot 58% af ten opzichte van de planten in de controle behandeling zonder UV-B.

2.3 Lamptype

Bij de keuze van de lichtbron spelen de volgende aspecten de belangrijkste rol (Pot, 2005a):

- Maximale efficiëntie in groeilicht, dat is maximale groei/productie tegen de laagst mogelijke energiekosten
- Minimale lichtterugval, dus een stabiele productieverhoging in de tijd
- Spectrale samenstelling van de lamp

De hogedruk natriumlamp (bijvoorbeeld de SON-T lamp), die momenteel vrijwel altijd bij belichting in de glastuinbouw wordt gebruikt, geeft momenteel de grootste hoeveelheid groeilicht per Watt opgenomen energie. Bij TL lampen is de energie-efficiëntie duidelijk lager: zij geven ongeveer 30% minder groeilicht dan SON-T lampen. De meeste TL-lampen stralen relatief veel blauw licht uit.

Op dit moment zetten hogedruk natriumlampen van 400 V bijna 40% van het opgenomen vermogen om in PAR (=groeilicht voor de plant). Door verdere verbetering en nieuwe technieken is misschien 50% haalbaar (Pot, 2005b)

De SON-T Green Power 400 V-lamp van Philips heeft de volgende procentuele verdeling van de lichtkleuren over het spectrum: bij blauw (400-500 nm), geel (500-600 nm), rood (600-700 nm) en rood/verrood (600-700/700-780 nm) is dit respectievelijk 6, 49, 45 en 6,5%. Hierbij is het aantal fotonen tussen 400-700 nm op 100% gesteld. De SON-T Green Power lamp van Philips heeft een efficiëntie van 1,92 micromol/sec per opgenomen Watt energie (Pot, 2005b).

Het maken van blauw licht kost 1,75 zoveel energie dan van rood licht. Daarom levert een hogedruk kwiklamp veel minder groeilicht per hoeveelheid energie dan een hogedruk natriumlamp (Pot, 2005a).

LED

Met een LED (=Light Emitting Diode) kun je specifieke kleuren ofwel monochromatisch licht maken. In principe kun je met een combinatie van LED's een kleurverdeling maken die optimaal is voor het groeiproces van de plant. Er is nog geen energie te besparen met LED. Er zijn wel vorderingen op het gebied van efficiëntie van LED's, maar ze zijn nog lang niet zo efficiënt als hogedruk natriumlampen. De nu beschikbare LED's hebben slechts een energie-efficiëntie van 20 tot 25%. Het zal nog jaren duren voordat LED's efficiënter zijn dan de beste SON-T lampen. (Pot, 2005b; Vegter, 2005).

Een manier om energie te besparen is LED's pulserend of knipperend te maken. In recent onderzoek van het KEMA en PRI in Wageningen, waarbij de LED's 70% van de tijd aan en 30% uit waren, is gevonden dat de energiebesparing 25% bedroeg, maar er werd ook 11% minder droge stof door de planten aangemaakt. Het idee achter deze werkwijze is dat een plant tijd nodig heeft om een foton te verwerken (Vegter, 2006; Visser, 2006).

Ito (1989) heeft in zijn onderzoek een lamp (geen LED) gebruikt die flikkerde. Als de lampen 60% van de tijd aan waren gaf dit ten opzichte van lampen continu aan bij sla een 80% lagere productie aan droge stof. Ook Kurata et al. (1984) vonden dat pulserend licht (korter dan een seconde) bij sla minder effectief was dan continu de lampen laten branden.

Vergelijking lamptypen bij sla

In de afgelopen tientallen jaren zijn er veel onderzoeken gedaan naar de groei van slaplanten onder verschillende typen lampen. Hierbij zijn onder andere TL-lampen, metaal halide lampen, hogedruk natriumlampen en LED's onderzocht.

Als naar de hoeveelheid vers of drooggewicht wordt gekeken, komen hogedruk natriumlampen vrijwel steeds als beste uit de bus. Deze lampen geven ook het meeste groeilicht per energie eenheid ofwel Watt (Pot, 2005b). Meer groeilicht in de lampen geeft grotere en zwaardere kroppen bij bijbelichting (Kurki, 1966).

Bij gelijke lichtintensiteit uitgedrukt in PPF, hadden slaplanten in groeikamers met hogedruk natriumlampen een hoger vers en drooggewicht dan met metaal halogeen lampen en TL-buizen (Ito, 1989). In onderzoek met bladsla door Koontz et al. (1987) was het verschil met (cool white) TL-lampen zelfs 50%. Onder hogedruk natriumlampen was het blad langgerechter en daardoor vingen de planten waarschijnlijk beter het licht op dan onder TL- buizen.

Meer blauw licht in de lamp (metaal halogeenlamp in vergelijking met hogedruk natriumlamp) gaf wel een donkerder bladkleur ofwel meer chlorofyl (Tibbitts et al., 1983; Ito, 1989). Hogedruk natriumlampen gaven zwaardere slaplanten met dikker blad dan laser-diode lampen met een golflengte van 680 nm (Yamazaki et al., 2000).

Verscheidene andere onderzoekers vonden echter dat de toename in drooggewicht (Tibbitts et al., 1983), versgewicht of bladoppervlak van de sla niet afhing van het lichtspectrum, maar alleen van het aantal fotonen. Wel was de plantopbouw/morfologie anders bij een vergelijking tussen verschillende lampen. Onder een hogedruk natriumlamp had de sla minder, maar grotere bladeren dan onder metaal halogeenlampen (Sase et al., 1988).

2.4 Belichtingsduur

Een langere belichtingsduur tijdens een etmaal geeft een snellere groei resulterend in een hoger eindgewicht van de sla (Groote, 1980; Craker en Seibert, 1983; Quinche, 1983; Koontz en Prince, 1986; Poniedziaek en Cebula, 1987; Premuzic et al., 2001). Dit geldt ook voor de belichtingsduur tijdens alleen de opkweek (Janssen, 1972; Visser en Vooren, 1975; Groote, 1980; Poniedziaek en Cebula, 1987). Zo vond Quinche (1983) in een Zwitsers belichtingsonderzoek dat het kropgewicht toenam van 159 g in een onbelichte teelt tot respectievelijk 214 en 247 g met bijbelichting met TL lampen gedurende respectievelijk 12 en 24 uur. De belichtingssterkte was 89 W/m^2 en de plantdatum was half oktober. Bij een planting begin januari werd de belichtingsintensiteit verdubbeld en toen bedroeg het kropgewicht in de drie behandelingen respectievelijk 172, 256 en 319 g.

Groote (1980) vond vooral een groot positief effect van de belichtingsduur (12 of 16 uur) tijdens de opkweek van de sla. Tijdens de teelt was het effect van 12 of 16 uur belichten wat minder groot. In een opkweekproef uitgevoerd door Janssen (1972), gaf continue belichting tijdens de opkweek iets zwaardere planten bij het uitplanten en een 13% hoger kropgewicht bij de oogst.

Bij bladsla was de drogestof productie bij continue belichten in groeicellen hoger dan bij 16 uur belichten. De productie aan droge stof was zelfs hoger bij 24 uur belichten dan bij de dubbele belichtingsintensiteit in combinatie met 16 uur belichten (Craker en Seibert, 1983). Ook Koontz en Prince (1986) vonden vooral bij bladsla een groot effect van 24 uur belichten in plaats van 16 uur. Bij de bladsla verdubbelde zelfs het gewicht bij deze 50% langere belichtingsduur. Bij kropsla was het gewicht 50% hoger. Bij bladsla lijkt een langere belichtingsduur dus effectiever dan bij kropsla.

Dezelfde onderzoekers hebben ook een proef uitgevoerd met 16 en 24 uur belichten, maar de lichtintensiteit (respectievelijk 260 en 415 micromol/m²/s) was zodanig gekozen dat de totale lichtsom per dag voor beide behandelingen gelijk uitkwam. Bij continue belichting was afhankelijk van het ras het eindgewicht van de bladsla 30 à 50% hoger dan bij 16 uur belichten. Bij kropsla was dit 18% (Koontz en Prince, 1986).

Ook bij veldsla verloopt de groei sneller bij 16 uur belichten dan bij 12 uur (Chadjaa et al, 1999). Door 's nachts te belichten blijkt de assimilatiesnelheid van slaplanten zowel gedurende de dag als de nacht toe te nemen (Fukuda et al., 2000).

Fukuda et al. (2000) hebben een belichtingsproef uitgevoerd met sla na een opkweekperiode van 24 dagen. In de volgende 24 dagen werd de sla aanvullend belicht van 23.00 tot 7.00 uur gedurende respectievelijk de eerste, tweede en derde periode van acht dagen en gedurende de gehele periode van 24 dagen.

Daarnaast was er een behandeling zonder belichting. Belichting gedurende de gehele periode van 24 dagen of alleen tijdens de tweede of derde periode van 8 dagen verbeterde het versgewicht ten opzichte van onbelicht. Als planten klein zijn, lijkt belichting dus relatief minder effect te hebben.

Door Benoit en Ceustermans (1993) wordt het advies gegeven om jonge planten in donkere periodes (november en december) te belichten vanaf 15 dagen na zaaien en in lichtere periodes 10 dagen na zaaien. Volgens deze onderzoekers zouden slaplantjes een minimum bladoppervlakte ontwikkeld moeten hebben voordat het zinvol is om met belichting te starten.

Het tegengestelde van belichting is licht wegnemen. Licht wegnemen in verschillende fases van de teelt heeft juist een negatief effect op het kropgewicht bij de oogst. Hoe langer de periode van lichtafname duurt, hoe groter het effect. Lichtafname in het tweede deel van de teelt had meer effect dan in het eerste deel van de teelt (Sanchez et al., 1989). Anderen wijzen erop dat via optimalisering van de klimaatsomstandigheden in de beginfase van de teelt gewerkt moet worden aan een maximale lichtonderschepping van het blad (Van Henten, 1994).

Benoit en Ceustermans (1992; 1993) vonden in hun belichtingsonderzoek tijdens de opkweek van kropsla dat de teeltduur hierdoor duidelijk werd versneld. Er werd zo'n 14 uur belicht met SON-T lampen van 6 tot 10 uur en van 16 tot 20 uur. De lampen met een belichtingsintensiteit van zo'n 30 tot 40 W/m² gingen uit als de stralingssom boven de 450 J/cm²/dag uitkwam. Ook bij lollo bionda werd de teeltduur korter door tijdens de opkweek te belichten (Benoit en Ceustermans, 1994).

Bij een lange belichtingsduur (20 tot 24 uur) is er wel meer kans op het optreden van topbrand, vooral bij een hoge lichtintensiteit (Tibbitts en Rao, 1968; Kurata, et al., 1984; Koontz en Prince, 1986). De laatste genoemde onderzoekers vonden onder continue belichting met hoge lichtintensiteit (350 micromol/m²/s), dat het kropslaras Salina slecht uitziende, misvormde bladeren had. Bij bladsla was dit niet het geval.

2.5 Lichtintensiteit

Als sla wordt vergeleken met andere gewassen dan blijkt dat dit gewas een relatief hoge lichtbehoefte heeft. Moe et al. (2005) geven aan dat de totale lichtbehoefte van sla zo'n 20-30 mol/m²/dag bedraagt. Ter vergelijking: bij tomaat en komkommer is dit meer dan 30 mol/m²/dag (Moe et al., 2005).

Een hogere lichtintensiteit geeft (bijna) altijd een hoger vers- en/of drooggewicht of een versnelling van de teelt (Janssen, 1972; Canham, 1975; Yanagi et al., 1996, Fukuda et al, 2000). Een hogere belichtingsintensiteit (50, 100, 200 en 400 W/m²) met TL-verlichting tijdens de opkweek deed het plant- en kroggewicht toenemen. 50 W/m² had weinig effect (Janssen, 1972). Om optimaal van de lichthoeveelheid te profiteren is een hogere opkweektemperatuur bij een zwaardere belichting beter, zo bleek uit de proeven: de planten waren zwaarder bij een zware belichting (300 W/m²) in combinatie met een hoge temperatuur (Janssen, 1972).

Wordt echter gekeken naar het bladoppervlak per hoeveelheid lichtenergie, dan was dit het hoogst bij de laagste lichtintensiteit en de langste belichtingsduur (Craker en Seibert, 1991). Dus onder lichtarme omstandigheden worden er relatief grote, maar dunnere bladeren gevormd. Dit is ook bekend bij andere gewassen.

Bij kortere belichtingsperiodes, deed een toename van de lichtintensiteit het bladoppervlak per hoeveelheid lichtenergie afnemen (Craker en Seibert, 1991).

Ook in Denemarken zijn met sla goede resultaten gevonden van 24 uren-belichting gedurende de eerste 16 dagen van de opkweek tot een 'belichtingsintensiteit' oplopend tot 400 W/m² met 'cool white' TL-lampen (Denmark Statens Vaekthusforsoeg, 1973).

Lichtreductie

In verschillende onderzoeken betekende een lichtreductie van 1% ongeveer 0,8% verlaging van de productie (Marcelis et al, 2004). Het maakte dan niet zoveel uit of er naar het vers- of drooggewicht van de kroppen werd gekeken. Anderzijds zou men deze gevonden resultaten ook door kunnen trekken naar de andere kant: 1% meer licht zou dan ongeveer 0,8% meer productie betekenen.

Als naar de onderschepte straling wordt gekeken, dan komt men in verschillende onderzoeken uit op 1% en minder/meer onderschepte straling is ongeveer 1% minder/meer opbrengst bij sla (Holsteijn, 1980; Both, 1995; Marcelis et al, 2004).

2.6 Belichting en slakwaliteit

2.6.1 Bladkleur

Groene kleur

Door belichting worden slabladeren over het algemeen donkerder van kleur en hebben ze een hoger chlorofylgehalte (Poniedziaek en Cebula, 1987; Ito, 1989; Fukuda et al, 2000). Een langere belichtingsduur zorgt ook voor donkerder blad (Poniedziaek en Cebula, 1987). De groenere kleur zal echter weer afnemen nadat wordt gestopt met belichting. Zo vonden Fukuda et al. (2000) dat er acht dagen na beëindiging van de belichting geen effect meer op de groene bladkleur was waar te nemen.

Onder hogedruk natriumlampen met relatief veel rood en weinig blauw licht, zijn de bladeren wat minder

groen en hebben een lager chlorofylgehalte dan onder metaal halogeen lampen bij een eenzelfde, hoge lichtintensiteit van 700 micromol/m²/s (Tibbitts et al., 1983).

Rode kleur

Belichting geeft in het algemeen een intensere roodkleuring bij rode slatypen zoals Lollo Rosso (Koontz en Prince, 1986; Maaswinkel, 1988; Benoit en Ceustermans, 1996; Ceustermans, 2005). Het effect van belichting op de mate van roodkleuring kan wel afhankelijk zijn van het ras (Benoit en Ceustermans, 1996). De roodkleuring wordt verder verbeterd door een hogere lichtintensiteit, kortere afstand tussen lampen en gewas (Ceustermans, 2005), een langere belichtingsduur (Koontz en Prince, 1986; Ceustermans, 2005) en belichting met 'cool white' TL-lampen in plaats van met hogedruk natriumlampen (Koontz et al, 1987). Het is belangrijk om zo kort mogelijk voor de oogst te belichten (Maaswinkel, 1988; Ceustermans, 2005).

De rood- of purperverkleuring van Lollo Rosso wordt veroorzaakt door vorming van anthocyaan in het blad en valt bij teelt onder glas nogal eens tegen. De roodkleuring hangt af van de temperatuur en de lichtintensiteit (Benoit en Ceustermans, 1996). De tegenvallende roodkleuring onder glas komt mede doordat glas de straling uit het UV-blauwe golflengtegebied, namelijk Uva (golflengte 320-400 nm) en Uvb (280-320 nm) (Pot, lezing), nauwelijks doorlaat (Ceustermans, 2005). Plastic folie laat dit UV-licht veelal wel door, waardoor in foliekassen minder problemen met roodkleuring optreden (Waaijenbergh en Hemming, 2006). Een overmaat aan assimilaten zorgt voor een sterkere roodverkleuring.

In belichtingsonderzoeken van Maaswinkel (1988) werd in een herfstteelt belicht gedurende de laatste week of twee weken voor de oogst en in de voorjaarsteelt gedurende één of drie weken voor de oogst. Er werden daarbij enkele belichtingstrappen met een hogedruk kwiklamp en SON-T lamp aangelegd. De lichtintensiteit van één van de behandelingen kwam overeen met ongeveer 15.000 Lux. De belichtingsduur in de herfst- en voorjaarsteelt was respectievelijk 16 en 20 uur per dag. Ook waren er behandelingen waarbij licht werd weggenomen. Ten opzichte van de controle gaf licht wegnemen in de meeste gevallen minder roodkleuring, maar naarmate meer licht met lampen werd gegeven was de sla veelal roder van kleur. Alleen de laatste week belichten met een hoge lichtintensiteit (circa 15.000 Lux) bleek zowel in de herfst- als voorjaarsteelt al een voldoende rode kleur van de Lollo Rosso op te leveren.

Benoit en Ceustermans (1996) hebben bij Lollo Rossa een proef uitgevoerd met SON-T lampen op een hoogte van 1,90 m boven het gewas. Er werd belicht van 6 tot 10 uur en van 16 tot 20 uur. De daglengte was dus 14 uur en de lichtintensiteit 30 en 60 W/m². Ze vonden geen invloed van de belichting op het plantgewicht, maar wel meer schot naarmate de lichtintensiteit toenam. Het effect van de lichtintensiteit op de kleur was afhankelijk van het ras: het ene ras (Impuls) vertoonde wel een duidelijk rodere kleur naarmate de lichtintensiteit toenam, het andere ras (Lauretta) niet. Bij veel instraling (voorjaarsteelt) was er weinig effect van de belichting op de roodkleuring.

De roodkleuring werd bij Lollo Rossa verbeterd door een hogere lichtintensiteit van de UV-lampen en ook een kortere afstand van de lampen tot het gewas (30 in plaats van 60 cm), maar hierdoor nam wel het risico op rand toe. Een langere belichtingsduur gaf een intensere kleur: per 8 uur belichting ongeveer een stijging van 1 punt op een schaal van 1 tot 9. Omdat de rode kleur snel afneemt nadat gestopt is met belichting is het belangrijk om de belichting vlak voor de oogst uit te voeren (Ceustermans, 2005).

2.6.2 Blad/plantvorm

Al eerder is vermeld dat minder blauw en meer rood licht een sterkere strekking van de stengel bij sla geven (zie paragraaf 2.2). Een hogere lichtintensiteit in combinatie met een langere belichtingsduur geeft ronder blad, dus een geringere lengte/breedte verhouding (Goto en Takakura, 1988). Een hogedruk natrium lamp geeft langgerechter slablad dan een 'cool white' TL-lamp. Mogelijk ontstaat hierdoor een betere lichtopvang (Koontz et al, 1987).

Alleen rood licht geeft zeer langgerekte blaadjes bij sla, als blauw wordt toegevoegd ontstaat een normalere plantvorm. Andere experimenten geven aan dat sla voor normale groei licht nodig heeft waarin minimaal 5% blauw aanwezig is (Spaargaren, 2000). In onderzoek van Fukuda et al. (1993) onder alleen rood en geel licht gingen de bladeren van kropsla naar beneden krullen.

2.6.3 Fysiogene afwijkingen

Rand

Belichting kan de kans op rand vergroten ten opzichte van niet belichten (Fearon, 1965). Hoge lichtintensiteiten in combinatie met een langere belichtingsduur (20 tot 24 uur) verhoogden de kans op top-rand in vergelijking met een lage lichtintensiteit en belichting gedurende 8 tot 16 uur (Tibbits en Rao, 1968; Goto en Takakura, 1988; Koontz en Prince, 1986). Volgens Tibbits en Rao (1968) heeft dit sterk te maken met de hogere groeisnelheid en productie aan assimilaten in de slapplanten. De problemen met top-rand ontstonden bij een groeisnelheid boven de 1,5 blad/dag. Ceustermans (1995) vond bij Lollo Rossa dat een hogere lichtintensiteit meer rand gaf. Dit was ook het geval bij een kortere afstand van de lampen tot het gewas.

Vooral groen licht bij een hoge lichtintensiteit lijkt meer bladverbranding te geven (Fukuda et al., 1993).

Schot

Janssen (1972) vond bij continue belichting tijdens de opkweek van kropsla géén schot. Ook in Engels onderzoek is niet meer schot opgetreden door botersla continu tijdens de opkweek te belichten (Sweep, 1972). Koontz en Prince (1986) zagen in hun onderzoek geen schieters, noch bij 16, noch bij 24 uur belichten. Daarentegen vonden Benoit en Ceustermans (1996) bij Lolla Rossa wel meer schot ofwel een wat langere stengel bij een hogere belichtingsintensiteit (60 in plaats van 30 W/m²).

2.6.4 Nitraat

Verlenging van de dagperiode met kunstlicht tot 16 uur (Rozek et al., 1989) of 24 uur (Prezumic et al., 2001) verlaagde het nitraatgehalte. Ook belichting in de nacht voor de oogst kan het nitraatgehalte verlagen. Machackova et al. (1985) vonden hierbij een 12% lager nitraatgehalte in vergelijking met sla geteeld zonder belichting. Bijbelichting gedurende 12 of 24 uur met TL-lampen (89 W/m²) verlaagde het nitraatgehalte in een winterteelt met respectievelijk 2 en 21%. In een voorjaarsteelt (planting begin januari) was het effect geringer, ondanks een twee maal zo hoge belichtingsintensiteit (Quinche, 1983).

2.6.5 Vitaminegehalte

Belichting gedurende 24 uur had geen effect op het vitamine C-gehalte in sla in vergelijking met onbelicht (Premuzic et al, 2001).

2.7 Ziekten

In een onderzoek in groeikamers bleek belichting met UVB (golflengte 280-315 nm) de levensvatbaarheid van de sporangia van de *Bremia*-schimmel te verminderen. UVA (315-400 nm) had hierop geen effect. In een buitenproef verminderde 50 en 100% zonlicht de kieming van *Bremia*-sporen ten opzichte van 0 en 25% zonlicht. De onderzoekers trokken daarom de conclusie dat er meer *Bremia*-infecties zijn te verwachten op bewolkte dagen ofwel donker weer of op bladeren die sterk beschaduwde worden (Wu et al, 2000). Ook Wargent et al. (2005) vonden na opzettelijke besmetting minder conidia-sporen van *Bremia* bij de hoogste UVB trap in groeikamers. Het lijkt erop dat aanvullend UV toedienen een rol speelt in het opwekken van resistentie tegen valse meeldauw in sla.

2.8 Belichting bij andijvie

Belichting met TL-lampen van 6000 Lux gedurende 12 uur tijdens de opkweek resulteerde in 50% zwaardere kroppen in vergelijking met onbelicht. Met verwarming werd de oogst met twee weken vervroegd. De combinatie van belichting tijdens de opkweek en verwarming tijdens de teelt was het beste (Verkerk, 1951). Het schieten van niet geverniseerde planten wordt vertraagd door het opkweken in de winter en het voorjaar bij een hogere lichtintensiteit met behulp van kunstlicht (Heiting, 1964).

Van frisee (fijne krulandijvie) zijn in de literatuur geen gegevens over belichting gevonden.

3 Praktijkervaringen met belichting in binnen- en buitenland

3.1 Finland

De slateelt behoort tot de best renderende teelten in Finland. Vooral het areaal pluksla op NFT op mobiele goten groeit snel. Er wordt botersla, kruksla, bladsla, lollo rossa, eikenblad en bindsla geteeld. Frillice, een type kruijsbergsla, is in Finland als pluksla en losse krop sterk in opkomst ten opzichte van botersla. In 2003 was er 15 ha belichte NFT- sla verdeeld over 66 telers, tegenover 6,6 ha botersla in de grond. Hiervan was eenderde deel belicht. Dit betekent dus relatief kleine oppervlaktes per teler. Veel telers hebben zowel belichte als onbelichte sla (Boonekamp, 2005a)

De belichtingsintensiteit (=geïnstalleerde vermogen) is 100 tot 120 W/m². De belichtingsduur is afhankelijk van het bedrijf en de periode en varieert tijdens de teelt van 10 tot 24 uur. Soms belicht men alleen tijdens de opkweek. Soms wordt vijf maanden per jaar 24 uur belicht en dan gedurende de rest van het jaar 10 tot 12 uur (van 21.00 of 22.00 uur tot 7.00 of 8.00 uur. Op donkere dagen in de zomer doet men ook overdag de lampen aan. Om meer stevigheid te verkrijgen houden Finse telers soms 2 uur donker aan. Dit is afhankelijk van de wens van de supermarkt.

De totale teeltduur van zaad tot oogst varieert per teler en jaargetijde van vier tot acht weken. Soms zetten telers minder planten per m², maar houden dan hogere temperaturen aan. Onder de lampen houden de meeste telers temperaturen aan van 17 à 18°C. Een enkele teler houdt 14°C aan, maar deze telers werken dan meer op kwaliteit, ofwel streven naar steviger en donkerder blad. Dan worden er 'maar' circa 10 teeltrondes gerealiseerd. Met belichting in NFT in combinatie met hoge temperaturen is dit wel 15 à 17 teelten per jaar, tegen gemiddeld 6 teelten in de grond zonder belichting. Als kostprijs voor sla geteeld op NFT en met belichting wordt door Finse telers € 0,35 genoemd, terwijl de verkoopprijs € 0,40 tot € 0,60 zou bedragen. De Finse consument koopt meer een verzameling van bladeren op een potje in plaats van een krop sla (Hoon en Kuiper, 2005).

3.2 Canada

Bijna alle slateelers in Québec in Canada (47° noorderbreedte) hebben belichting, waarvan sommigen een drijvend systeem op tempexplaten hebben. Een te hoge lichtintensiteit in combinatie met meer dan 12 uur belichten kan rand geven. Er worden wel 18 teelten per jaar gerealiseerd (Spaargaren, 2000).

De Rutgers Universiteit in New Jersey in de Verenigde Staten hebben ook een drijvend systeem voor de slateelt ontwikkeld. Men zou per vierkante meter aan 500 afleverbare kroppen (150 g) per jaar komen. Door te telen op een vaste lichtsom van 17 mol/m²/dag is het mogelijk om 5 weken na zaaien kropjes van een gewenst gewicht van 150 g te oogsten. De belichtingssterkte is 200 micromol/m²/s ofwel circa 17000 Lux, maar in de praktijk ligt deze lager. De eerste 11 dagen verblijven de planten in een groeikamer (660 planten/m²) bij een daglengte van 24 uur, in de kas wordt de plantdichtheid geleidelijk verlaagd van 80 tot 28 planten/m². Er wordt elke dag geoogst (Spaargaren, 2000).

3.3 België

In België zijn een aantal telers die op NFT in mobiele goten telen in combinatie met belichting. Meestal worden verschillende slatypen geteeld. De pionier van dit teeltsysteem is Frans de Weerdt, die 12 jaar geleden met dit systeem is begonnen. In combinatie met belichting kan hij acht rondjes per jaar realiseren. Het streefaantal per jaar is 155 kroppen/m² zware sla of alternatieve slasoorten. De alternatieve slasoorten

(lolla rossa, lollo bionda en eikenbladsla) worden met potje en al verkocht. De Weerdt belicht met 4200 Lux. Hierdoor oogst hij in winter twee maal zoveel kroppen in vergelijking met een slateelt in de grond zonder belichting. Zijn verwachting is dat als in de laatste fase van de teelt belicht zou worden met bijvoorbeeld 7200 Lux, de productie nog verder zou kunnen stijgen (Gastel, 2002).

Een andere Belgische teler met belichting en bewegende goten is Daniël de Nocker. Hij teelt ook verschillende slatypen. Deze gaan volgens hem schieten als ze te weinig licht krijgen in combinatie met hoge temperaturen. De belichtingssterkte bij hem is 5300 Lux boven de trays met jonge planten en 4000 Lux boven de bewegende goten. Om schot te voorkomen worden de kleinere slaplantent maximaal 15 uren belicht en de grote maximaal 18 tot 20 uren. Volgens hem is dit ongeveer het maximum voor sla (Boonekamp, 2005b). Jonge sla zou volgens de teler een donkerperiode nodig hebben van minimaal 9 uur om bobbeling van het blad te voorkomen (Kuiper, 2004). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een ophoping van assimilaten en zou voorkomen kunnen worden door hogere temperaturen aan te houden. In de winter wordt de grootste winst in groeisnelheid geboekt. Deze periode is ook het meest interessant door de hogere prijzen. De combinatie van NFT en belichting bij zware sla verkort de teeltduur met eenderde ten opzichte van een grondteelt zonder belichting. Bij nog meer opjagen van de sla door hogere temperaturen aan te houden is er volgens De Nocker meer kans op rand en verbranding (Boonekamp, 2005b).

3.4 Nederland

3.4.1 Sla

In Nederland is nog weinig ervaring met belichting in sla. Voor zover bekend is er momenteel één bedrijf (Maatschap Boer/Den Hoedt in Ridderkerk) waar belichte sla op mobiele goten wordt geteeld (Boonekamp, 2006).

Boer/Den Hoedt telen op 6000 m² verschillende typen sla, zoals lolla rossa, lollo bionda, eikenbladsla, botersla en ook frisee met belichting van 58 micromol/m²/s (4500 Lux). Van november tot maart wordt belicht van 0.00 tot circa 8.30 uur. De stroom wordt betrokken van het net. In de wintermaanden staan de jonge planten tijdelijk op trays. Op de mobiele goten bedraagt de plantdichtheid aan het begin en het einde van de teelt respectievelijk circa 40 en 17 à 18 planten/m². De teeltduur is afhankelijk van het seizoen en bedraagt ongeveer vijf tot zeven weken. De telers rekenen erop dat er per oppervlakte eenheid per jaar ongeveer het dubbele aantal kroppen vanaf komt dan van een grondteelt zonder belichting. Als de ketel brandt worden CO₂-gehalten aangehouden van soms 2400, meestal 1600 ppm. De minimale nachttemperatuur is 10°C.

Een slabedrijf in Limburg zal in het najaar van 2006 op mobiele goten starten met belichting met een lichtintensiteit van 70 micromol/m²/s (5500 Lux) bij jonge planten en 55 micromol/m²/s (4300 Lux) bij oudere planten. Er zal gebruik gemaakt worden van 1000 W lampen. De totale belichte oppervlakte op dit bedrijf wordt 15.000 m². De bedoeling is om verschillende typen sla te telen.

3.4.2 Frisee

Sinds oktober 2005 telen Leon en Wilma Duijvestijn frisee met belichting (grondteelt). Door te belichten kunnen ze jaarrond frisee leveren; zonder belichting is dit in de wintermaanden niet mogelijk. De belichte oppervlakte bedraagt op hun bedrijf 7000 m² en de gemeten lichtintensiteit is 87 micromol/m²/s. Dit komt overeen met rond de 6500 Lux. Dat betekent dat 1 uur belichten een stralingsom geeft van 0,31 mol/m² aan PAR-licht ofwel 15 J/cm² in de kas is. De belichtingsduur per dag was maximaal 20 uur. De lampen gingen meestal uit boven een stralingsniveau van 100 W/m². Van week 40 2005 tot en met week 10 2006 hebben de telers ruim 1900 uur belicht. Ruim 40% van de totale lighthoeveelheid in de kas was in deze periode afkomstig van de lampen. Midden in de winter was dit wel 70%. Gemiddeld over een week kwam de stralingsom per dag in de kas niet onder de 350 J/m² ofwel 7,2 mol/m². Dit zijn lichtcondities in de kas van ongeveer half februari.

Van week 40 tot week 10 was de instraling 7% hoger dan het langjarig gemiddelde. Door de vele instraling

en hoge temperaturen groeide de frisee in het najaar erg hard. De gemiddelde teeltduur bedroeg toen 6 à 7 weken. Het bleek niet eenvoudig om een kwalitatief goed product te telen door problemen met glazigheid of rand in de krop. Hierop ontstond weer rot, waardoor kroppen soms onverkoopbaar waren. Na aanpassing van de watergift ging het vanaf begin februari duidelijk beter. Het eerste jaar met belichting van frisee is vooral een leerperiode geweest, waarbij ook de grenzen zijn verkend van wat nog mogelijk was. Op het bedrijf zijn ook een aantal frisee-rassen op hun gebruikswaarde onder belichting onderzocht. Slechts weinig rassen konden wedijveren met het standaardras Barundi. Sommige rassen hadden te grof blad, andere rassen waren fijn maar weer te traag groeiend. Soms hadden rassen ook veel last van rot ontstaan op glazigheid of rand binnenin de krop of waren gevoelig voor topbrand.

3.4.3 Chinese groenten

In IJsselmuiden teelt Gerard Bottenberg paksoi van het mini Shanghai type op beweegbare goten met 4800 Lux aan belichting. De mini Shanghai wordt veelal belicht vanaf 2.00 uur en de lampen gaan uit bij een stralingsniveau van 50 W/m². In het weekend wordt vanwege de lagere elektriciteitsstarieven vaak belicht van 24.00-17.00 uur. Volgens de teler is mini Shanghai bij te lang belichten gevoeliger voor glazigheid. De teelttemperatuur op NFT is 16/13°C. De teeltduur is in de winter circa 39 dagen, in de zomer 25-28 dagen bij een oogstgewicht van maximaal 50-60 g. De teler wil in de nabije toekomst naar een hogere lichtintensiteit.

4 Conclusies

- De plantengroei wordt bepaald door het aantal lichtdeeltjes (=fotonen) in het lichtspectrum van blauw (400 nanometer) tot rood (700 nanometer). Dit noemen we groeilicht. Het menselijk oog heeft een geheel andere gevoeligheid voor lichtkleuren dan planten.
- De lichtkleur heeft invloed op de ontwikkeling en plantvorm. Meer blauw licht geeft kortere slapplanten met kleinere bladeren en een lager versgewicht. Relatief veel rood licht in het spectrum geeft meer strekking van stengel en blad.
- Op dit moment zetten de beste hogedruk natriumlampen bijna 40% van het opgenomen vermogen om in groeilicht. LED-lampjes zijn nog duidelijk minder efficiënt.
- Een langere belichtingsduur tijdens een etmaal gedurende de opkweek en/of teelt geeft een snellere groei en een hoger oogstgewicht van de sla. Bij bladsla lijkt het effect groter dan bij kropsla.
- Een hogere lichtintensiteit verhoogt meestal het vers- en/of drooggewicht en versnelt de teelt.
- Bij belichting is sla donkerder groen van kleur dan zonder belichting. Blauw licht geeft een hoger chlorofylgehalte in het blad.
- De roodverkleuring van ondermeer Lollo Rossa wordt gestimuleerd door belichting met een hogere lichtintensiteit, een langere belichtingsduur en een relatief groot aandeel van blauw licht in het lichtspectrum. Om te voorkomen dat de rode kleur weer verdwijnt, moet zo kort mogelijk voor de oogst worden belicht.
- Een langere belichtingsduur en/of hogere lichtintensiteit verhoogt de kans op topbrand, maar verlaagt het nitraatgehalte in de sla.
- In Finland wordt veelal met 100 tot 120 W/m² (circa 140 tot 170 micromol/m²/s ofwel ongeveer 11.000 tot 13.000 Lux) belicht gedurende 10 tot 24 uur per dag. Dit is afhankelijk van het bedrijf en teeltperiode.
- In België belichten enkele telers met NFT met een belichtingsintensiteit van zo'n 54 tot 68 micromol/m²/s (4200 tot 5300 Lux) gedurende maximaal 15 uur bij kleine planten tot 20 uur bij grote planten.
- In Nederland belicht momenteel één bedrijf verschillende typen sla op NFT, een ander bedrijf zal hiermee in het najaar van 2006 starten. Belichtingsintensiteit is zo'n 55 tot 70 micromol/m²/s (4300 tot 5500 Lux). Dit kan afhankelijk zijn van het teeltstadium.
- In het seizoen 2005-2006 is op een Nederlands praktijkbedrijf ervaring opgedaan met belichting van frisee met een lichtintensiteit van 87 micromol/m²/s ofwel ruim 6500 Lux. Na enkele teeltaanpassingen werd kwalitatief goede, belichte frisee verkregen.
- Midden in de winter bestond 70% van de totale lichthoeveelheid uit groeilicht. De minimale lichthoeveelheid in de kas van het groeilicht + natuurlijke licht kwam overeen met het meerjarige gemiddelde per dag omstreeks half februari.

Literatuur

- Anonymus, jaar onbekend. Philips lampen laten uw winst groeien. Belichting in de tuinbouw. Brochure Philips, Eindhoven.
- Benoit, F. en N. Ceustermans, 1992. Invloed van belichting en geleidbaarheid bij sla. Proeftuinnieuws 9, september 1992, p. 12-13.
- Benoit, F. en N. Ceustermans, 1993. Belichting tijdens opkweek en teelt. Proeftuinnieuws 8, oktober 1993, p. 10-11.
- Benoit, F. en N. Ceustermans, 1994. herfst- en winterteelt belicht. Proeftuinnieuws 7, oktober 1994, p. 26-27.
- Benoit, F. en N. Ceustermans, 1996. Belichting oordeelkundig doseren. Proeftuinnieuws 21, november 1996, p. 30-31.
- Boonekamp, G., 2005a. Finse slatellers doen mee met de besten. Groenten & Fruit (10): 18-19.
- Boonekamp, G., 2005b. 'Dit is echt het systeem van de toekomst'. Groenten & Fruit (36): 18-19.
- Boonekamp, G., 2006. 'De winst moet je in de winter pakken'. Groenten & Fruit (27): 16-17.
- Both, A., 1995. Dynamic simulation of supplemental lighting for greenhouse hydroponic lettuce production. Dissertation Cornell University.
- Brazaitytė, R. Ulinskaitė, P. Duchovskis et al, 2005. Optimization of lighting spectrum for photosynthetic system and productivity of lettuce by using light-emitting diodes. Lecture at the ISHS 5th symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Norway.
- Canham, A.E., 1975. Some recent developments in artificial lighting for protected crops. Proceedings of the XIX International Horticultural Congress, 1974. Vol. II: 267-276.
- Chadjaa, H., L.P. Vezina en A. Gosselin, 1999. Effects of supplementary lighting on growth and primary nitrogen metabolism of greenhouse lamb's lettuce and spinach. Can. J. Pl. Sci. 79(3): 421-426.
- Ceustermans, N., 2005. beïnvloeding van de roodverkleuring bij alternatieve slasoorten in NFT onder glas. Proeftuinnieuws 18, 30 september 2005, p. 28-30.
- Craker, L.E. en M. Seibert, 1983. Light and the development of Grand Rapids Lettuce. Can. J. Plant Sci. 63: 277-281.
- Denmark Statens Vaekthusforsoeg, 1973. Raising lettuce plants with artificial light. (Tiltraekning af salatplanter ved kunstlys). Gartner-Tidende 89(12): 176-177.
- Fearon, J.R., 1965. The effect of artificial illumination on crops for early marketing. NAAS quart Rev. (70): 74-9.
- Fukuda, N., H. Ikeda en M. Nara, 1993. Effects of light quality on the growth of lettuce and spinach cultured by hydroponics under controlled environment. J. Soc. Agr. Struct. 24 (2): 23-30.
- Fukuda, N., K. Suzuki en H. Ikeda, 2000. Effects of supplemental lighting from 23:00 to 7:00 on growth of vegetables cultured in NFT. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69(1): 76-83.
- Gastel, T. van, 2002. 'Sla op bewegende groten bespaart geen arbeid'. Groenten & Fruit (13): 32-33.
- Goto, E. en T. Takakura, 1988. The effect of artificial light on the growth of lettuce. Acta Hort. 230: 213-218.
- Groote, A. de, 1980. Kunstmatig belichten van kropsla tijdens de opkweek en na het uitplanten. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 45(5): 1325-1334.
- Hahn, I.M., 1959. Morphologische und wirkstoffphysiologische Untersuchungen an Pflanzen, die bei ausschliesslich künstlichem Licht herangezogen wurden. Gartenbauwiss. 24: 229-64, : 263-410.
- Heiting, J., 1964. De invloed van temperatuur en licht op groei en ontwikkeling van andijvie. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen, 74 p.
- Henten, E.J. van, 1994. Greenhouse climate management: an optimal control approach. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 329 p.
- Hirai, T. en W. Amaki., 2005. Action of blue or red monochromatic light on stem internodal growth depends on plant species. Poster at the ISHS 5th symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Norway.
- Holsteijn, H.M.C. van, 1980. Growth of lettuce. II. Quantitative analyses of growth. Medelingen Landbouwhogeschool Wageningen: 80-13.
- Hoon, M. de, en I. Kuiper, 2005. Sla in winters Finland. Gewasnieuws sla LTO-Groeiservice, 8(1): 1-3.
- Ito, T., 1989. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions. Acta Hort. 260: 381-389.
- Janssen, G., 1972. Belichting van slaplanten. Groenten en Fruit 30 augustus 1972, 351-352.
- Kim, H.H., R.M. Wheeler en J.C. Sager, 2005. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment- A review of research at Kennedy Space Center. Presentation at the ISHS 5th symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Norway.
- Koontz, H.V. en R.P. Prince, 1986. Effect of 16 and 24 hours daily radiation (light) on lettuce growth. Hort Sci. 21(1): 123-124.

- Koontz, H.V., R.P. Prince en R.F. Koontz, 1987. Comparison of fluorescent and high-pressure sodium lamps on growth of leaf lettuce. *Hort Sci.* 22(3): 424-425.
- Kuiper, I., 2004. Mobiele teelt op water. Nieuwsbrief sla LTO-Groei-service, 7(4): 1.
- Kurata, K. T. Nagano en T. Takakura, 1984. Effects of fluctuating light on photosynthesis of some vegetables. *J. Agri. Met.* 40: 269-272.
- Kurki, L.M., 1966. Quality of additional light in raising young plants. *Acta Hort.* (4): 78-81.
- Maaswinkel, R., 1988. Gewenste kleur kost wel erg veel geld. Effect van licht op roodkleuring Lollo Rosso. *Tuinderij* 15 september 1988, p. 38-39.
- Marcelis, L. G. Broekhuijsen, E. Meinen en M. Raaphorst, 2004. Lichtregel in de tuinbouw. 1% licht= 1% productie? Nota 205. Plant Research International B.V., Wageningen. 84 pp.
- Moe, R., S. Grimstad en H. Gislørød, 2005. Year round production at higher latitudes. Lecture at the ISHS 5th symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Norway.
- Poniedziaek, M. en S. Cebula., 1987. Effect of the length of daily illumination and type of light on the growth and quality of greenhouse-raised lettuce seedlings. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im Hugona Koatja w Krakowie, Ogrodnictwo.* 210(15): 231-241.
- Pot, S. 2005a. Hoe gaat een plant om met licht. Lezing voor BCO belichting komkommer dd 10 mei 2005 bij PPO Glastuinbouw in Naaldwijk.
- Pot, S., 2005b. Meer groeilicht voor minder energie. *Vakblad voor de Bloemisterij*, week 49, blz 40-41.
- Premuzic, Z., A. Garate en I. Bonilla, 2001. Yield and quality of greenhouse lettuce as effected by form of N fertilizer and light supply. *Plant nutrition: food security and sustainability of agro ecosystems through basic and applied research. Fourteenth International Plant Nutrition Colloquium, Hannover, Germany*, 300-301.
- Rozek, S., J. Myczkowski, W. Sady en T. Wojtaszek, 1989. The effect of some factors on the content of nitrate and nitrite in lettuce leaves grown with the nutrient film technique. I. The effect of light and growth regulators. *Folia Hort.* 1(1): 31-34.
- Rijssel, E. van, 2002. Licht en lichtreacties in de plantenwereld. Korte notitie PPO Glastuinbouw.
- Sanchez, C.A., R.J. Allen & B. Schaffer, 1989. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114(6): 884-890.
- Quinche, J.P., 1983. Essais de culture de laitues pomees en serre avec des supplements de lumière artificielle. *Revue Suisse de Viticulture, d' Arboriculture et d' Horticulture*, 15(5): 269-271.
- Sase, S., H. Ikeda en T. Takezono, 1988. Plant production in the artificial environment. *Acta Hort.* 230: 323-328.
- Sase, S. en P.P. Ling, 1996. Quantification of lighting spectral quality effect on lettuce development using machine vision. *Acta Hort.* (440): 434-439.
- Spaargaren, J., 2000. Leren van belichtingservaring in het buitenland. *Groenten & Fruit*, 5 december 2000, p. 12-15.
- Sweep, A.A.M., 1972. belichting bij de opkweek van slaplant in Engeland. *Groenten en Fruit* 30 augustus 1972, p. 355.
- Tibbitts, T.W. en R.R. Rao, 1968. Light intensity and duration in the development of lettuce tipburn. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 454-61.
- Tibbitts, T.W., D.C. Morgan en I.J. Warrington, 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108 (4): 622-630.
- Vegter, B., 2005. LED-lampjes beloftevol, maar nog te duur. *Vakblad voor de Bloemisterij* 19, p. 32-33.
- Vegter, B., 2006. Knipperende led-lampjes: groeilicht van de toekomst? *Vakblad voor de Bloemisterij* 2, p. 36-37.
- Verkerk, K., 1951. Extra belichting bij vroege andijvie (I). *Mededelingen Directie Tuinbouw*, 14: 925-40.
- Visser, P., 2006. Pulseren kan LED's sneller rendabel maken. *Groenten & Fruit*, week 6, p. 30-31.
- Visser, A. de en J. van de Vooren, 1975. Artificial irradiation for lettuce plant raising – technical and economic aspects. *Neth. J. Agri. Sci.* 23(3): 219-223.
- Waaijenberg, D. en S. Hemming, 2006. Haalbaarheid optimale foliekassen voor energie-extensieve teelten. Deelrapport: Inventarisatie mogelijke kasconstructies. Nota 381, Plant Research International B.V., Wageningen.
- Wargent, J.J., A. Taylor en N.D. Paul, 2005. UV supplementation for growth regulation and disease control. Presentation at the ISHS 5th symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Noorwegen.
- Wu, B.M., K.V. Subbarao, A.H.C. van Bruggen, 2000. Factors affecting the survival of *Bremia lactucae* sporangia deposited on lettuce leaves. *Phytopathology*, 90(8): 827-833.
- Yamazaki, A., H. Tsuchiya, T. Honma et al., 2000. Effect of laser-diode light on growth of *Lactuca sativa* L. *J. Soc. High Techn. Agr.* 12(2): 93-98.
- Yanagi, T., K. Okamoto en S. Takita, 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Hort.* (440): 117-122.